

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-296693

(43) 公開日 平成4年(1992)10月21日

(51) Int.Cl.⁵

G 2 1 C 3/328

識別記号

庁内整理番号

7156-2G

F I

G 2 1 C 3/30

技術表示箇所

G D B W

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平3-61895

(22) 出願日 平成3年(1991)3月26日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 楠 野 貞 夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会

社東芝総合研究所内

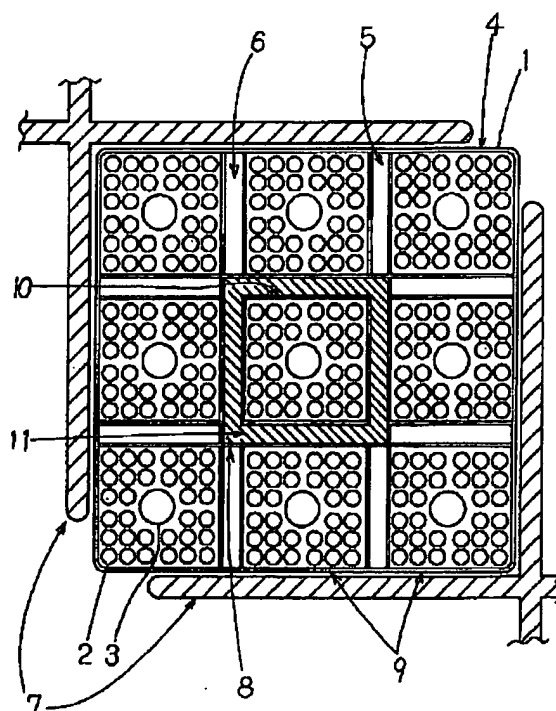
(74) 代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

(54) 【発明の名称】 原子炉の炉心

(57) 【要約】

【目的】 燃料集合体を大型化し、反応度制御能力を増加しつつ交換すべきCRDを減少させるとともに、装荷する燃料の性質が広範囲に変わっても原子炉の炉心特性を良好に保つことができる原子炉の炉心を得ること。

【構成】 横断面における一辺の燃料棒2の配列数がNであるN×N正方格子配列をさらにI, J, Kの3つの配列数に分けてN×N正方格子をI×I, J×J, K×K及びそれぞれ2個ずつのI×J, I×K, J×Kの合計9個の副格子に区分けされた副燃料領域9によって構成し、これら各副燃料領域を分離し井字型の炉水で満たされた水路6を成すように構造材14で補強してなる燃料集合体1を規則的に配置するとともに、炉心周辺部をのぞいて、各燃料集合体1体当たりに2体の十字型制御棒7が配置してなる原子炉の炉心。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 燃料集合体の横断面における一辺の燃料棒の配列数がNであるN×N正方格子配列をさらにI, J, Kの3つの配列数に分けてN×N正方格子をI×I, J×J, K×K及びそれぞれ2個ずつのI×J, I×K, J×Kの合計9個の副格子に区分けされた副燃料領域によって構成し、これら各副燃料領域を分離し井字型の炉水で満たされた水路を成すように構造材で補強してなる燃料集合体を規則的に配置するとともに、炉心周

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は沸騰水型原子炉（以下BWRという）などの軽水炉に用いる燃料集合体に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来のBWR（ABWR）に装荷されている燃料集合体としては図20のような例がある。この集合体106は60本の燃料棒100と、1本のウォータ・ロッド101を規則的に配列し、スペーサ102により結束し、下端を下部タイプレート103で、上端を上部タイプレート104で固定し、これらを角筒状のチャンネルボックス105に収容したものである。

【0003】 図21は前記燃料集合体が炉心に装荷された状態での制御棒110との位置関係を示したものである。燃料集合体1体につき1体の制御棒が対応している。見方を変えると、制御棒110は燃料集合体4体を纏めたセルの中央位置に1体の割合で配置されている。全炉心はこの破線で囲まれたセルを単位として構成されている。セルの中心にある制御棒は図示しない制御棒駆動装置（CRD）によって上下方向に動かすことができ、これによって炉心の反応度を制御している。

【0004】 図22は、872体の燃料集合体が炉心に配置された例を示している。燃料集合体106は、この図では一つの正方形で表してある。従って、前記セルは4つの正方形から成り立つものであり、その中心にある制御棒110の位置は○印で表されており、炉心全体では205体に達する。なお、炉内の計装系としては局所出力領域モニタ（LPRM）111が◆で示した位置に52体、広領域モニタ（WRM）112が△で示した位置に10体配置されている。

【0005】 原子炉は一定期間運転された後、定期的に点検される。このとき反応度の低下した燃料集合体の交換はもちろんのことであるが、寿命の来たLPRM、制御棒、CRDなどの交換も行う必要が生じる。そのためにはこれら機器の周辺の燃料集合体を少なくとも4体以上は取り出して実施する必要がある。各機器1体の交換のために取り出すべき燃料集合体数は、LPRMの場合には7体、制御棒の場合には10体、CRDの場合には

4体が通例である。

【0006】 このように、定期点検期間中に多数の燃料集合体を動かすことは作業工程数を上昇させるので、交換すべき機器や燃料集合体が多いことは、定検期間長期化の原因となり、運転維持費の上昇と原子炉稼働率の低下をもたらしていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、燃料集合体を従来例よりも大型化すると同時に、交換すべきCRDの本数を減少させるけれども燃料集合体1体当たりの制御棒本数は増加させ、反応度制御能力を増加し、かつ、装荷する燃料の性質（ウラン濃縮度、MOX燃料富化度割合など）が広範囲に変わっても、燃料集合体の内部構造に工夫をすることによって、良好な特性を持つ原子炉の炉心構造を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記の目的は、横断面における一辺の燃料棒の配列数がNであるN×N正方格子配列を、さらにI, J, Kの3つの配列数に分けて、N×N正方格子をI×I, J×J, K×K及びそれぞれ2個ずつのI×J, I×K, J×Kの合計9個の副格子に区分けされた副燃料領域によって構成し、これら各副燃料領域を分離し、井字型の炉水で満たされた水路を成すように構造材で補強してなる燃料集合体を規則的に配置するとともに、炉心周辺部をのぞいて、各燃料集合体1体当たりに2体の十字型制御棒が配置してなる原子炉の炉心によって達成される。

【0009】

【作用】 本発明においては、燃料集合体の一辺の長さを現行の沸騰水型原子炉に装荷する燃料集合体のほぼ2倍、すなわち面積にしてほぼ4倍にすると同時に、燃料集合体1体に対して2体の制御棒を対応させる。このとき制御棒の制御能力を増加するために、同時に十字型制御棒の1翼の長さを増加させる。その結果、制御棒による反応度制御能力を落とさずに、炉心に装荷する燃料集合体数をほぼ4分の1に、制御棒本数をほぼ2分の1に削減することができ、定検工程の大幅な短縮が可能になると同時に、燃料管理の工数もまた少なくとも4分の1程度に減少することができる。

【0010】

【実施例】 以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

【0011】 図1は本発明による原子炉に装荷する燃料集合体と制御棒との組み合わせの第一の実施例を示す横断面図である。ここでは、N=18で、I=J=K=6となっている。合計9個の副燃料束9は、燃料棒2を6×6の正方格子状に配列したもので、その中央部にはウォータロッド3が配置されている。9個の燃料束相互間には内側チャンネル5によって構成された井字型の水路6が存在している。内側チャンネルの軸方向に沿ってチ

3

チャンネルの強度を増すために数力所に固定金具8が取り付けられ、外側チャンネルが大型化してもチャンネルクリーブなどに対して従来燃料よりも強い構造となっている。

【0012】制御棒7はこの大型燃料集合体1に対して対角線方向に2体配置されている。本実施例においては、燃料集合体は、従来例よりも面積にしてほぼ4倍となっており、反応度の高い燃料の場合には、燃料装荷作業の途中における臨界管理が重要となってくる。そこで、図示しない中性子吸収材を含む反応度制御体を領域11に装荷した状態で燃料集合体を燃料貯蔵プールに保管し、集合体が炉心内に装荷され、制御棒が挿入され、炉停止余裕が確保されてから、はじめて反応度制御体を引き抜くようにすればよい。反応度制御体は領域11だけでなく、サブチャンネル固定金具8を跨る形で井戸字型のものでよい。

【0013】本実施例では、副燃料束9は6×6の燃料配列となっているが、その中は図2の(a)に示すように一様に燃料棒ピッチでも良いし、また燃料棒間のクリアランスが確保される範囲内で図2の(b)のように3×3の小集団に分け、集団内の燃料棒ピッチ P_1 を集団間の燃料棒ピッチ P_2 よりも小さくすれば、運転時の反応度を高め、逆に低温時の反応度は下げる効果を持たせることができる。

【0014】燃料装荷の際の未臨界度を高めるための他の手段として、本実施例では中央燃料束10だけを取り外して、大型燃料集合体を装荷したのち、最後に中央燃料束10を装荷することもできる。なぜならば、中央燃料束を取り除いた後の燃料の無い領域は一辺が、ほぼ従来燃料(ほぼ14cm)の3分の2程度の大きさ(約9cm)であり、これは燃料交換時の炉水の温度状態では中性子の移動距離よりも長いために、中央領域は中性子吸収体として働くからである。

【0015】本実施例のみならず、以下の実施例においても同様であるが、中央燃料束10及び副燃料束9は、それぞれが水チャンネルによって周囲を囲まれている。大型燃料集合体が炉心の周辺に装荷された場合や、運転時のある期間に制御棒が挿入されていると、それぞれの燃料束の中性子スペクトル及び燃焼速度に差異が生じる。この差異の著しい燃料集合体については、燃料交換時にプールに取り出して置き、原子炉運転中に副燃料束の間(異なる大型燃料集合体間の副燃料束を含めて)のシャッフリングをすることができる。この際、一部の副燃料束をMOX燃料集合体に置き換えることも可能である。これらの作業は全て、原子炉運転中にプールサイドにて行われる(いわゆる、IN-SERVICE REFUELING)ので、原子炉の稼働率を低下させる原因とはならない。

【0016】図3は、本発明による燃料集合体の第2の実施例であって、中央部分にはボイド管13が挿入されている。運転時にはこの中がボイドに満たされ、炉停止

4

時にはこの中は炉水で満たされる。第1の実施例において説明したように、中央部分が炉水で満たされた場合には減速過剰の状態となり、むしろ中央部分がボイドで満たされた場合よりも反応度が低い。本実施例において、中央ボイド管13の部分が70%ボイド率の運転時の無限増倍率はほぼ第1の実施例に等しいが、炉停止時にボイド管が炉水で満たされた状態では第1の実施例に比してほぼ8%低い無限増倍率を持ち、炉停止余裕上有利である。

【0017】図4は本発明による燃料集合体の第3の実施例を示す横断面図である。本実施例では、 $N=18$ 、 $I=7$ 、 $J=4$ 、 $K=7$ となっている。本実施例では図示していないが、第1の実施例と同様に燃料配列を3×3または2×2の小集団に区分けすることは反応度の向上と炉停止余裕の向上の2点から有利となる。また、本実施例においては中央のサブチャンネルに沿った燃料棒の上部2分の1ないし3分の1が無い部分長燃料棒12を装荷している。これによって、運転時はボイドが発生し、中性子の足が長くなるために反応度上の損失はないが、炉停止時には燃料上方が炉水で満たされ、実質的に中央の炉水部分が広がり、中性子は過剰減速となり炉停止余裕が向上する。

【0018】図5は本発明による燃料集合体の第4の実施例を示している。これ以降に示す実施例では、基本的に図1と同じであるので、簡単のために制御棒を図示していない。この実施例においては、 $N=18$ 、 $I=8$ 、 $J=2$ 、 $K=8$ の場合である。この場合には中央燃料束10は中性子に対する消耗性毒物入りの燃料棒を装荷してもよい。あるいは、完全に燃料棒を取り去ったウォーターロッドでもよい。8×2の4つの副燃料束には全長の燃料棒を装荷してもよいが、第3の実施例のように部分長燃料棒を装荷すれば、炉停止余裕が向上する。

【0019】図6は本発明の第5の実施例を示している。これは、 $N=18$ 、 $I=5$ 、 $J=8$ 、 $K=5$ の場合である。ここでも、井字型水路に面する燃料棒を第3の実施例のように部分長燃料棒に置換すれば、炉停止余裕の向上が期待される。

【0020】図7は本発明の第6の実施例を示す図である。これは、 $N=18$ 、 $I=4$ 、 $J=10$ 、 $K=4$ の場合である。

【0021】図8は本発明の第7の実施例を示す図である。これは、 $N=18$ 、 $I=3$ 、 $J=12$ 、 $K=3$ の場合である。

【0022】図9は本発明の第8の実施例であって、図1に示した実施例において、井字型水路に沿った燃料棒を中心に近い方から各1列削ることによって、水対燃料体積比を増加させたものである。こうすることによって、ウラン(酸化物)燃料よりも中性子吸収断面積の大きなMOX燃料(ウランとプルトニウムとの混合酸化物燃料)の場合にも中性子スペクトルを硬くすることな

5

く、ウラン燃料とほぼ同じ炉心特性を得ることが可能になる。

【0023】図10は本発明の第9の実施例であって、第8の実施例において、中央燃料束のみを6×6に戻したものである。これによって、水対燃料体積比の調整の自由度が増加する。

【0024】図11は本発明の第10の実施例であって、第1の実施例において、中央燃料束のみを4×4に縮小したものである。

【0025】図12は本発明の第11の実施例であって、N=18、I=2、J=1、K=2の場合である。この場合には、燃料集合体のコーナー部は減速材としての水が豊富なので、井字型水路を一部燃料棒に置き換えている。さらに、井字型水路の構造材は大型燃料集合体の中央から外れているので、チャンネルクリープ対策としてチャンネル補強材14を設置している。

【0026】図13は本発明の第12の実施例であって、この場合には、N=18、I=9、J=0、K=9となっているので、中央燃料束がなくなり、結果として井字型水路の代わりに、十字型水路がある。

【0027】図14は本発明の第13の実施例であって、N=17、I=6、J=5、K=6の場合を示している。この例では、第1の実施例よりも径方向がやや小さい燃料集合体となっている。燃料集合体の面積としては、現行のもののほぼ3.6倍程度に対応している。したがって、炉心に装荷すべき燃料集合体数は第1の実施例よりも大きく、CRDの数も多くなっているけれども、依然として現行サイズの場合に比して著しく少ない。

【0028】図15は本発明の第14の実施例であって、N=16、I=5、J=6、K=5の場合を代表的に示してある。これは、さらに前記第13の実施例よりも集合体の径方向の幅が小さくなっており、現行燃料のサイズのほぼ3.2倍の面積に相当している。

【0029】図16は本発明の第15の実施例であって、N=15、I=5、J=5、K=5の場合である。これは、現行燃料のサイズのほぼ2.8倍の面積に相当している。

【0030】図17は本発明の第16の実施例であって、N=14、I=4、J=6、K=4の場合である。これは、現行燃料のサイズのほぼ2.4倍の面積に相当している。

【0031】図18は本発明の第17の実施例であって、N=13、I=4、J=5、K=4の場合である。これは、現行燃料のサイズのほぼ2.1倍の面積に相当する。

【0032】図19は本発明による原子炉の炉心の4分の1を示している。ここで、薄い実線は現行燃料集合体1が装荷される領域を表している。黒丸及び白丸は現行炉心のCRDの位置であって、炉心全体では205あ

6

る。燃料集合体数は872体である。一つの制御棒を囲むセル23は図21に示したものに对应している。現行燃料は外接円28によって囲まれた円にできる限り多く入るように装荷されている。この炉心を大型燃料集合体として現行のほぼ4倍の面積を持つ燃料集合体を装荷した炉心を同図に重ねて示している。ここで、大型燃料集合体は太い実線で表してある。またCRDは黒丸の位置にのみ限定される。白丸の場所にはCRDは無い。このためCRDの数は121体となり、燃料集合体数は208に減少する。

【0033】ただし、外接円28のサイズを一定とする限り、炉心の最外周には大型燃料集合体を装荷するスペースを確保できない。そのため、最外周にある制御棒を保持するために、現行燃料並みのサイズの制御棒保持用集合体25または模擬燃料集合体26が必要となる。しかし、その数はわずかであり、定検工程の妨げになるほどのものではない。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、燃料集合体を大型化し、反応度制御能力を増加しつつ交換すべきCRDを減少させるとともに、装荷する燃料の性質が広範囲に変わっても原子炉の炉心特性を良好に保つことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる炉心の第1の実施例を示す横断面図であり、各燃料束の一辺の燃料棒配列数がI=6、J=6、K=6の場合、すなわち、6-6-6の場合である。

【図2】本発明にかかる炉心に装荷すべき燃料集合体の燃料棒の配列方法として、燃料棒を小集団毎にまとめて配列する一例を示す図。

【図3】本発明の第2の実施例を示す横断面図。

【図4】本発明の第3の実施例として、7-4-7配列の一例を示す横断面図。

【図5】本発明の第4の実施例として、8-2-8の場合を示す横断面図。

【図6】本発明の第5の実施例として5-8-5の場合を示す横断面図。

【図7】本発明の第6の実施例として、4-10-4の場合を示す横断面図。

【図8】本発明の第7の実施例として、3-12-3の場合を示す横断面図。

【図9】本発明の第8の実施例として、6-4-6の場合を示す横断面図。

【図10】本発明の第9の実施例として、6-4-6の場合を示す横断面図。

【図11】本発明の第10の実施例として、6-6-6の場合を示す横断面図。

【図12】本発明の第11の実施例として、2-14-2の場合を示す横断面図。

7

【図13】本発明の第12の実施例として、9-0-9の特別な場合を示す横断面図。

【図14】本発明の第13の実施例として、6-5-6の場合を示す横断面図。

【図15】本発明の第14の実施例として、5-6-5の場合を示す横断面図。

【図16】本発明の第15の実施例として、5-5-5の場合を示す横断面図。

【図17】本発明の第16の実施例として、4-6-4の場合を示す横断面図。

【図18】本発明の第17の実施例として、4-5-4の場合を示す横断面図。

【図19】本発明の効果を説明するために、大型燃料集合体とCRDの体数が現行よりも大幅に減少している例を従来の炉心の場合と比較して示した部分横断面図。

【図20】従来の燃料集合体の一例を示す縦断面図。

【図21】従来の燃料集合体と制御棒との関係を示す横断面図。

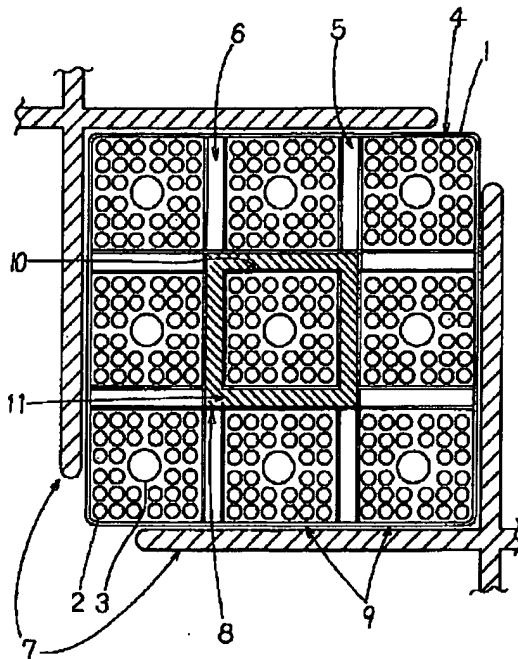
8

【図22】従来の炉心における、燃料集合体、制御棒、LPRM、WRMの配置を示す横断面図。

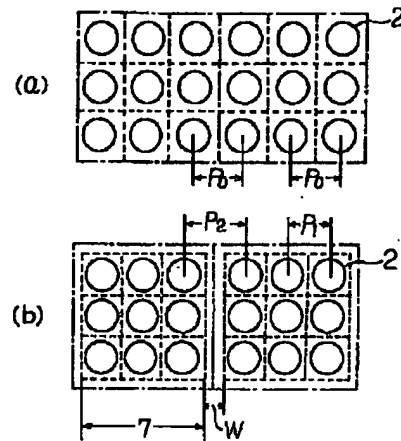
【符号の説明】

- 1 燃料集合体
- 2 燃料棒
- 3 ウォータロッド
- 4 外側チャンネル
- 5 内側チャンネル
- 6 井字型水路
- 7 制御棒
- 8 チャンネル固定金具
- 9 副燃料束
- 10 中央燃料束
- 11 反応度制御体挿入領域
- 12 部分長燃料棒
- 13 ボイド管
- 14 チャンネル補強材

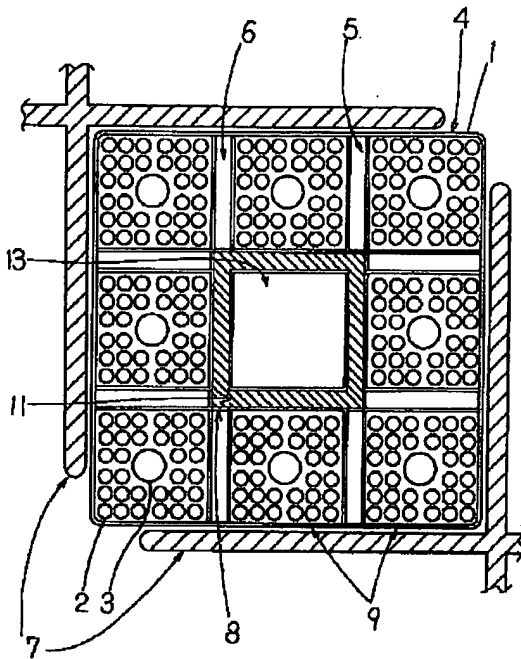
【図1】



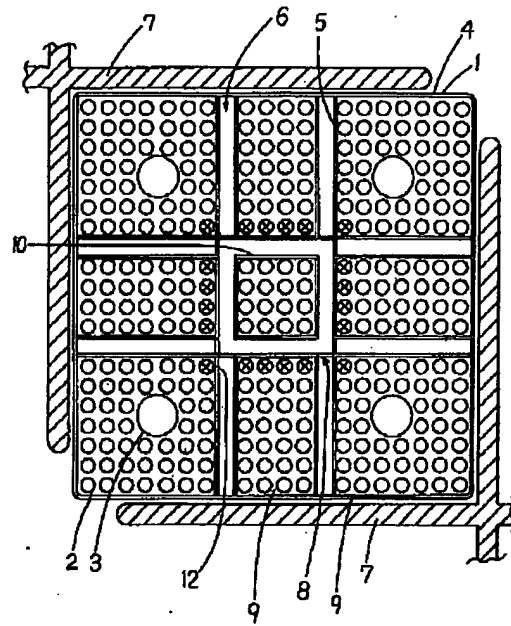
【図2】



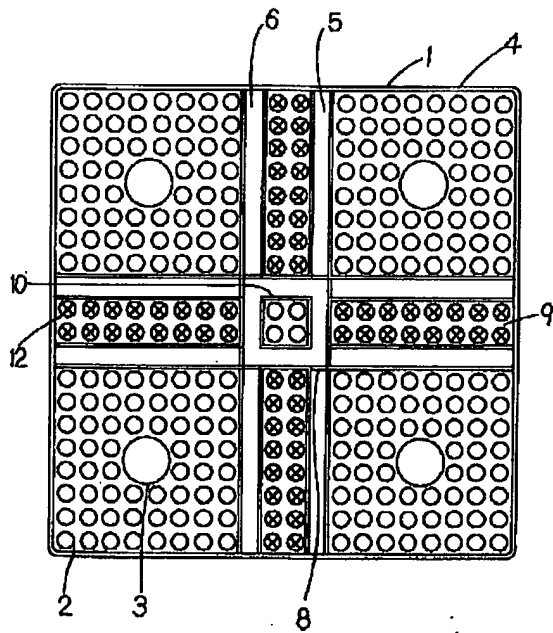
【図3】



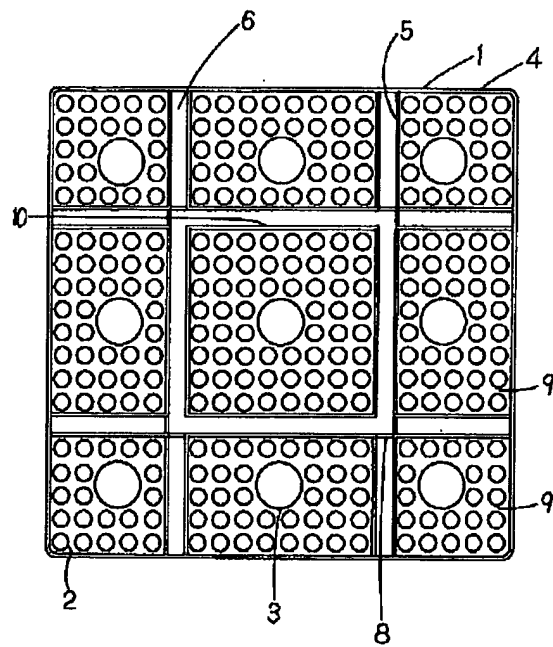
【図4】



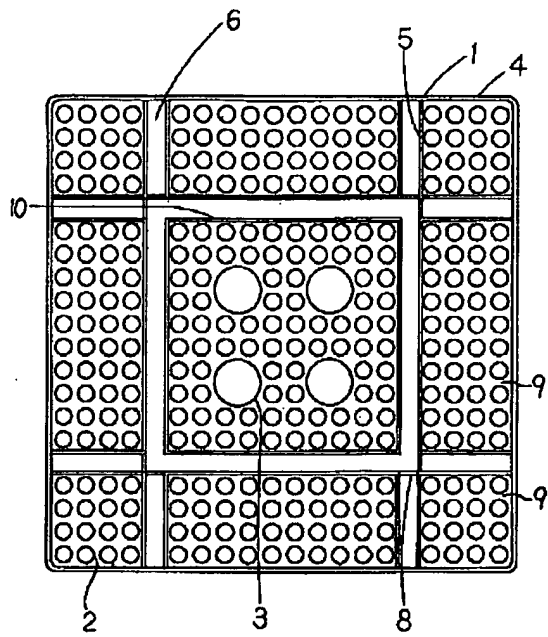
【図5】



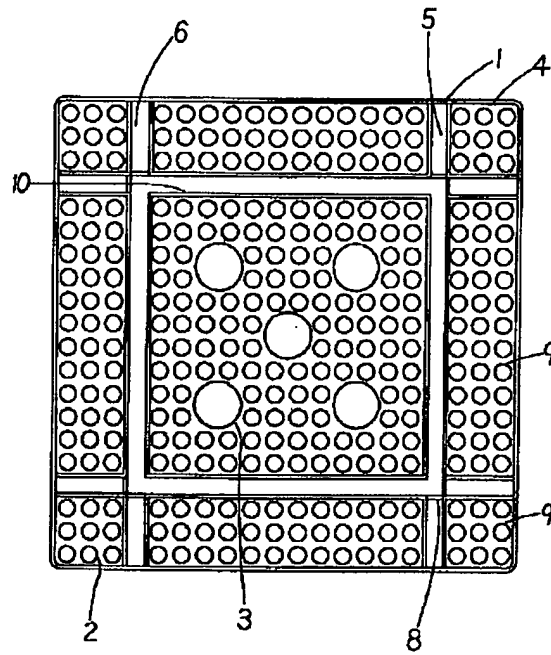
【図6】



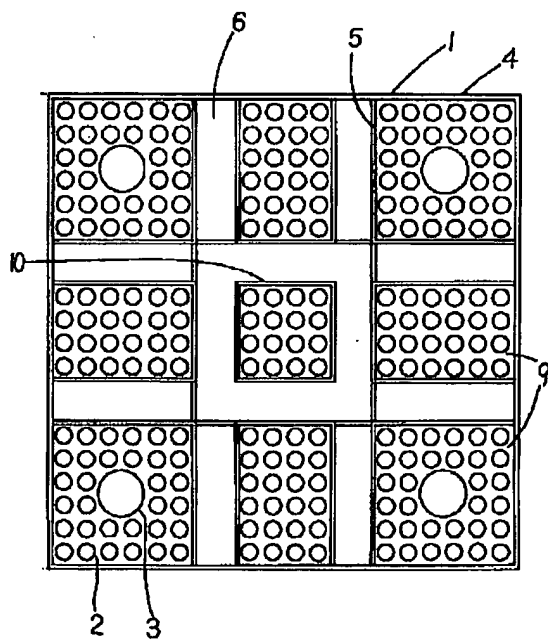
【図7】



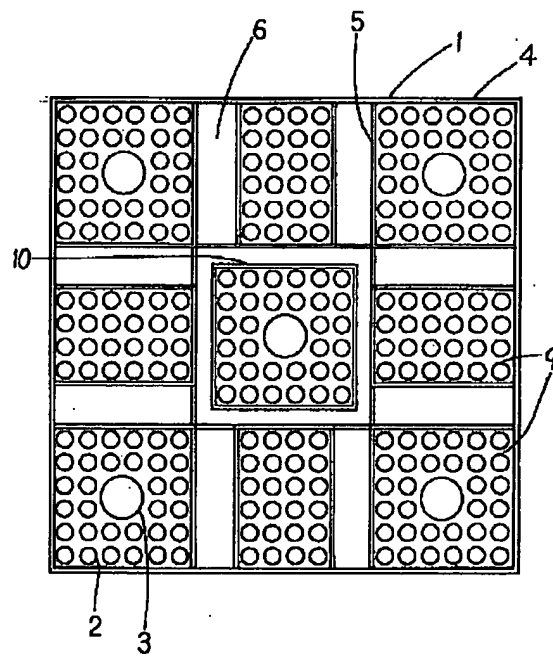
【図8】



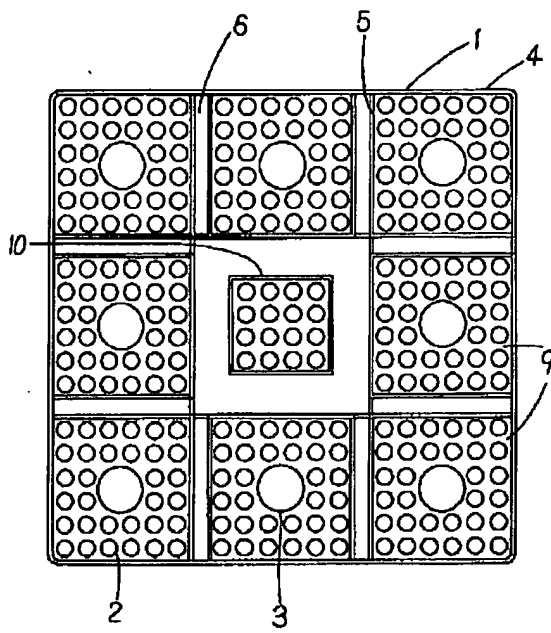
【図9】



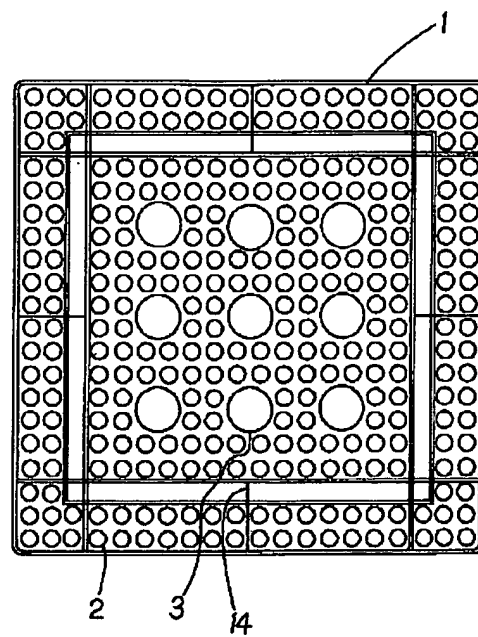
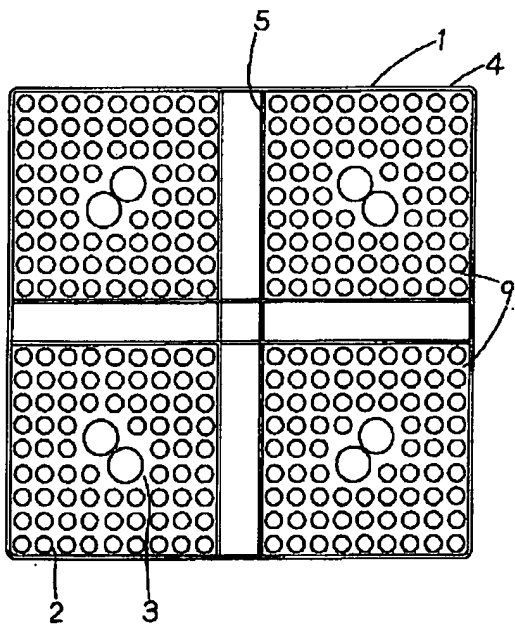
【図10】



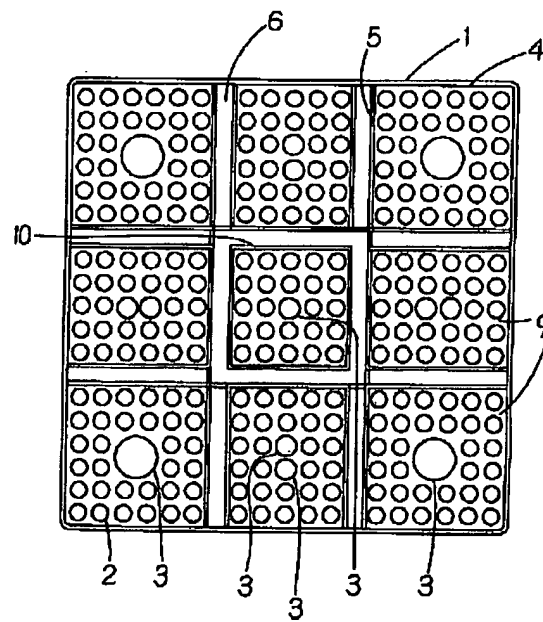
【図11】



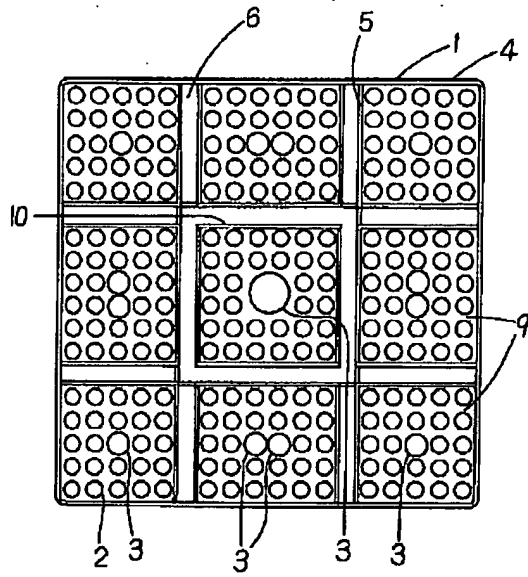
【図12】

【図13】 *Embodiment
of Fig 1*

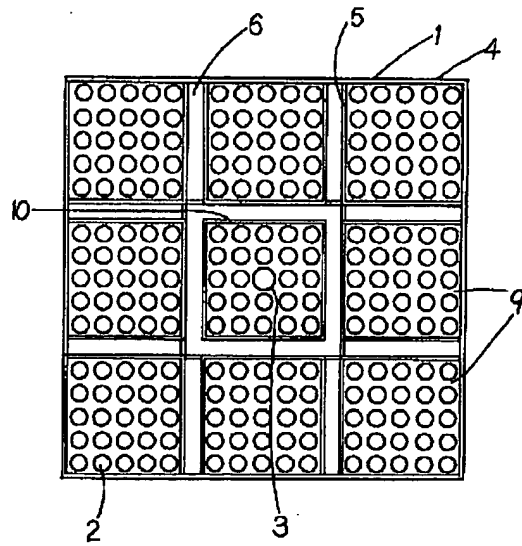
【図14】



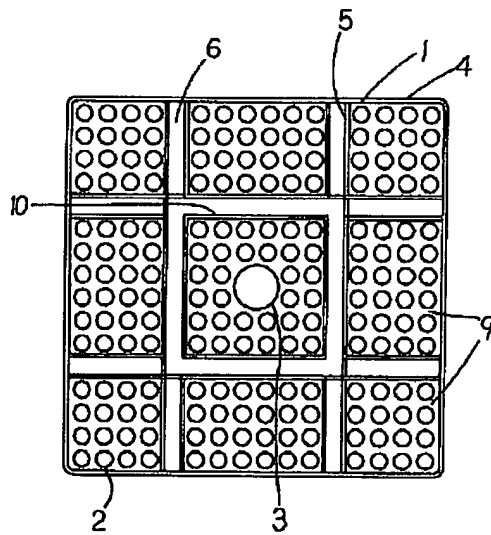
【図15】



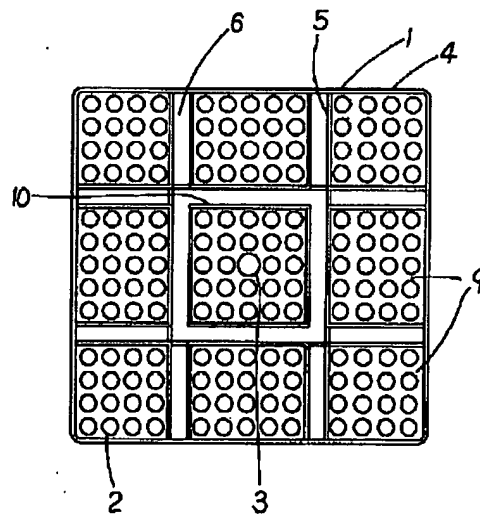
【図16】



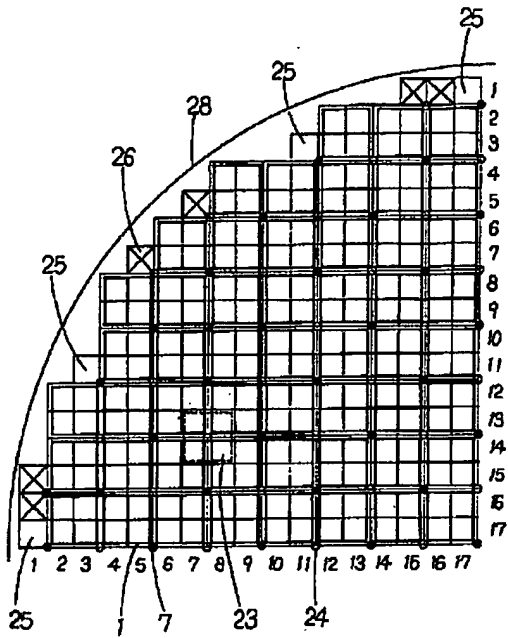
【図17】



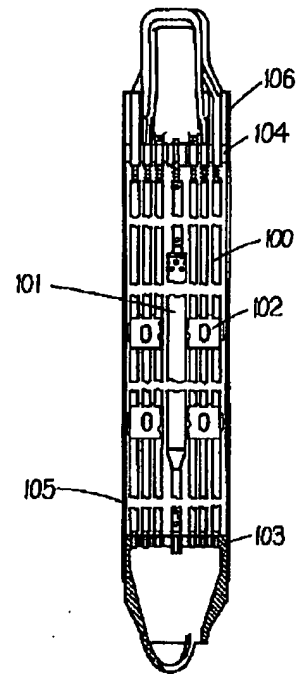
【図18】



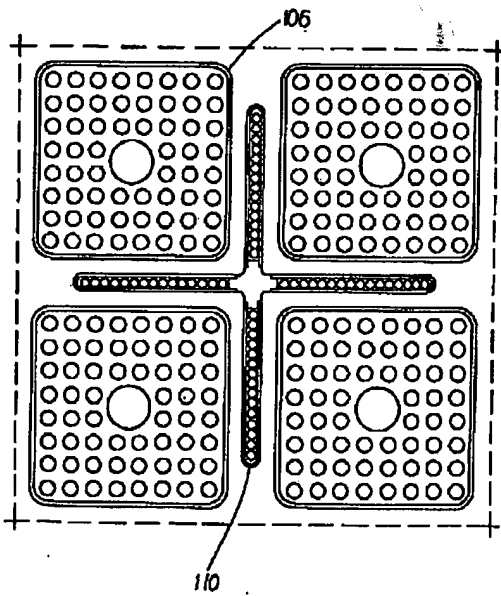
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

